

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 05249331  
PUBLICATION DATE : 28-09-93

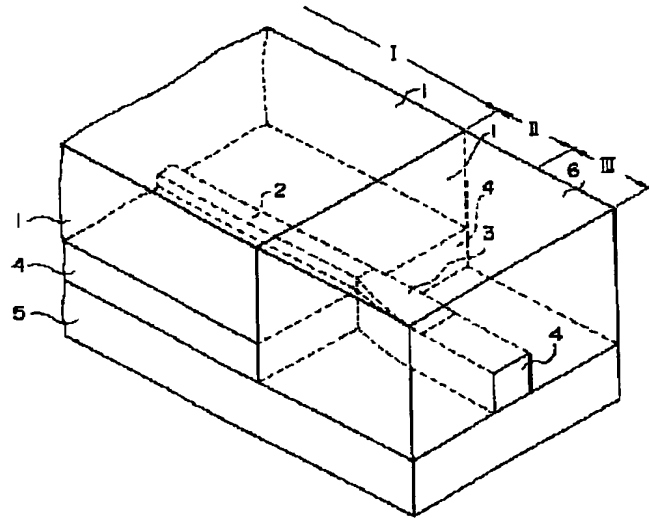
APPLICATION DATE : 27-04-92  
APPLICATION NUMBER : 04108059

APPLICANT : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>;

INVENTOR : KAMITOKU MASAKI;

INT.CL. : G02B 6/12 G02B 6/42

TITLE : WAVEGUIDE TYPE BEAM SPOT  
CONVERSION ELEMENT AND  
PRODUCTION THEREOF



ABSTRACT : PURPOSE: To provide the waveguide type beam spot conversion element which can decrease the coupling losses with external input/output waveguides by additionally widening the distribution of guided light and the process for production of this element as well as to provide the semiconductor optical waveguide having a large spot size for this purpose with good reproducibility and high accuracy.

CONSTITUTION: A second core 4 having the refractive index higher than the refractive index of a substrate 5 is provided under a core 2. A core 3 is formed in a transverse direction toward a light propagation part III and is formed thinly in a tapered shape toward the thickness direction. In addition, the core 3 is cut in the part II and the second core 4 is extended across the parts II and III under the core 3. The waveguide mode is prevented from being cut off and an increase in a radiation loss by coupling of this mode to a radiation mode is prevented and, therefore, the spot size is widened.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-249331

(43) 公開日 平成5年(1993)9月28日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/12	A	7036-2K		
6/42		7132-2K		

審査請求 未請求 請求項の数9(全20頁)

(21) 出願番号 特願平4-108059

(22) 出願日 平成4年(1992)4月27日

(31) 優先権主張番号 特願平4-2445

(32) 優先日 平4(1992)1月9日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 吉本 直人

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 河野 健治

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 神徳 正樹

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

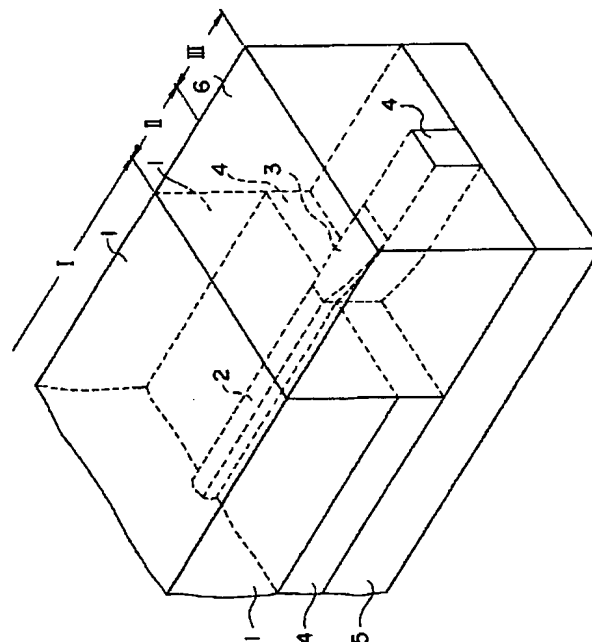
(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54) 【発明の名称】 導波路形ビームスポット変換素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 導波光の分布をより広げることにより外部入出力導波路との結合損失を低減することのできる導波路形ビームスポット変換素子およびその製造方法を提供する。ならびにそのためのスポットサイズの大きい半導体光導波路を再現性よく高精度に提供する。

【構成】 コア2の下に基板5よりも屈折率の高い第2コア4を設け、コア3を光伝搬部ⅠⅠⅠへ向けて幅方向に広くし、かつ厚み方向にテーパ状に薄くし、かつ部分ⅠⅠにおいて打ち切り、第2コア4をコア3の下に部分ⅠⅠおよびⅠⅠⅠにわたって延在させる。導波モードがカットオフとならず、しかも放射モードと結合して放射損が増加することがないため、スポットサイズを広げることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光を出射する光導波路であって実質的に単一モードの光を出射する出射用光導波路部と、該出射用光導波路部のコアと連続するコアを有しスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路部と、変換されたスポットの光を伝搬する光伝搬部とを基板上に配設した導波路形ビームスポット変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路部のコアを素子先端部へ向けて幅方向にテーパ状に変化させるとともに、厚み方向にテーパ状に薄くし、かつ前記コアを前記スポットサイズ変換用光導波路部において打ち切り、および前記基板よりも屈折率が高い少なくとも1個以上の第2コアを前記出射用光導波路部および前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアの上および下の少なくとも一方に配設したことを特徴とする導波路形ビームスポット変換素子。

【請求項2】 光を出射する光導波路であって実質的に単一モードの光を出射する出射用光導波路部と、該出射用光導波路部のコアと連続するコアを有しスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路部と、変換されたスポットの光を伝搬する光伝搬部とを基板上に配設した導波路形ビームスポット変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路部のコアを素子先端部へ向けて幅方向にテーパ状に変化させるとともに、厚み方向にテーパ状に薄くし、かつ前記コアを前記スポットサイズ変換用光導波路部において打ち切り、および前記基板よりも屈折率が高い少なくとも1個以上の第2コアを前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアの上および下の少なくとも一方に配設したことを特徴とする導波路形ビームスポット変換素子。

【請求項3】 請求項1または2記載の導波路形ビームスポット変換素子の製造方法において、前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアを、その厚みを領域選択成長技術で少なくとも厚み方向にテーパ状に変化させて形成することを特徴とする導波路形ビームスポット変換素子の製造方法。

【請求項4】 請求項1または2記載の導波路形ビームスポット変換素子の製造方法において、前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアにあらかじめエッチストップ層を介在させておき、前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアを、ウェットエッチングにより少なくとも厚み方向にテーパ状に形成することを特徴とする導波路形ビームスポット変換素子の製造方法。

【請求項5】 請求項4記載の導波路形ビームスポット変換素子の製造方法において、前記ウェットエッチングで形成した前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアの厚み方向のテーパ部分に幅方向に複数のテーパを形成し、導波光の等価屈折率を長手方向において緩やかに変化させることを特徴とする導波路形ビームスポット

ト変換素子の製造方法。

【請求項6】 基板と、前記基板の上部に配置され、前記基板よりも屈折率が高く、前記基板と格子整合したInAlAs層とInP層とを交互に積層して構成した第1コア層と、前記第1コア層の上部に配置され、前記第1のコア層よりも屈折率が低いクラッド層とを具えたことを特徴とする半導体光導波路。

【請求項7】 請求項6記載の半導体光導波路において、前記第1コア層の中に配置され、前記第1コア層よりも屈折率が高く、素子先端部に向かって幅方向に徐々に狭くもしくは広く形成されるとともに、厚み方向に徐々に薄く形成され、かつ素子先端部に達する前になくなる第2コア層をさらに具えたことを特徴とする半導体光導波路。

【請求項8】 請求項7記載の半導体光導波路を製造するにあたり、前記第2コア層内に、前記第2コア層に対して選択性のあるエッチストップ層を介在させておき、前記第2コア層を、選択ウェットエッチング技術を用いて、少なくとも厚み方向に徐々に変化させて形成することを特徴とする半導体光導波路の製造方法。

【請求項9】 請求項8記載の半導体光導波路の製造方法において、前記第2コア層を、その厚みを領域選択成長技術を用いて少なくとも厚み方向に徐々に変化させて形成することを特徴とする半導体光導波路の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、外部光導波路との結合損失を低減するための導波路形ビームスポット変換素子およびその製造方法、ならびにかかるビームスポット変換素子で用いるのに好適なスポットサイズの大きい半導体光導波路およびその製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 まず、後の説明の便宜のために、スポットサイズについて定義しておく。光の界分布をガウシアン分布でフィッティングした場合、そのパワー分布がピークの値の  $1/e^2$  になる幅（半幅）をスポットサイズとする。

【0003】 近年、半導体光集積回路の研究が活発に行われている。その中における重要技術課題のひとつとして半導体光導波路と入射・受光用光導波路（たとえば光ファイバ）との結合損失の低減化がある。

【0004】 一般に、半導体光導波路の場合、コアとクラッドの屈折率差が大きいので、半導体光導波路を伝搬する光のスポットサイズはサブミクロンオーダーと小さくなる。スポットサイズが  $w_1$  と  $w_2$  の2つのガウシアンビームが結合する場合の結合効率  $\eta$  は

## 【0005】

【数1】

$$\eta = 4 / (w_1 / w_2 + w_2 / w_1)^2 \quad (1)$$

と表される。

【0006】さて、式(1)から、光導波路間の結合損失を低減するためには、スポットサイズを一致させればよいことがわかる。受光用光導波路として単一モード光ファイバ(以下、SMFと略す)を用いる場合、そのスポットサイズ $w_2$ は約 $4\mu\text{m}$ であり、半導体光導波路と直接結合させたのでは結合損失が極めて大きくなる。例えば、半導体光導波路のスポットサイズ $w_1$ が $1\mu\text{m}$ でSMFのスポットサイズ $w_2$ が $4\mu\text{m}$ の場合、結合損失 $(-10 \cdot \log(\eta))$ は6.5dBとなる。半導体光導波路のスポットサイズが $0.5\mu\text{m}$ とすると、式(1)より結合効率 $\eta$ は0.06、すなわち結合損失 $(10 \times \log(\eta))$ は12.2dBとなる。\*

$$\eta = \exp(-x^2/w^2)$$

で与えられ、 $w$ が $0.5\mu\text{m}$ のガウシアンビームが、光軸と垂直方向に $1\mu\text{m}$ だけずれた場合でも、2つのガウシアンビームの結合損失は17.4dBとなり、軸ずれのトレランスが極めて厳しくなる。

【0010】このように、スポットサイズ $w$ がサブミクロンと小さいときには、結合損失が大幅に増加し、軸ずれのトレランスが極めて厳しくなる。

【0011】また、実際には、先球SMFの先端の $R_1$ を小さくしても、研磨の際の加工精度のためスポットサイズを $0.5\mu\text{m}$ 程度にまで小さくすることは大変難しい(以上の参考文献:河野健治著、“光デバイスのための光結合系の基礎と応用”(現代工学社))。

【0012】そこで、半導体光導波路のスポットサイズをSMFと同程度まで大きくすることが必要となる。

【0013】図45は半導体光導波路におけるスポットサイズ変換についての従来例を示す斜視図である。図46および図47は、それぞれ、図45におけるAA'線およびBB'線断面図である。

【0014】ここで、101はクラッド、102は出射用光導波路のコア、103はコア102に連続するスポットサイズ変換用光導波路のコアである。この従来例では、受光用光導波路として先球SMFを用いており、104はこの先球SMFのクラッド、105は先球SMFのコアである。 $R_1$ は先球SMFにおける先球の半径である。

【0015】この従来例の動作原理を説明する。スポットサイズ変換用光導波路のコア103は図45や図46からわかるように、先端がテーパ状に徐々に細くなっている。従って、出射用光導波路のコア102を伝搬してきた光がスポットサイズ変換用光導波路のコア103を伝搬すると、光がクラッド101へ漏れだす量が多くなり、光の界分布が広がることになる。その結果、スポットサイズが大きくなり、式(1)に与えた結合損失を低減することができる。

【0016】図48はコアの厚さとスポットサイズとの関係を示す特性図である。ここでは、スラブ導波路解析

\*【0007】そこで、後述するように、単一モードの光ファイバのスポットサイズを半導体光導波路と同程度まで小さくするために、光ファイバの先端を研磨してレンズ効果を持たせてスポットサイズを小さくする、いわゆる先球加工単一モード光ファイバ(以下、先球SMFと略す)が用いられる。

【0008】ところが、先球SMFのスポットサイズをサブミクロンオーダーにまで小さくすると軸ずれのトレランスの問題が生じてくる。つまり、スポットサイズ $w$ の2つのガウシアンビームが光軸に垂直に $x$ だけ軸ずれして結合する場合の結合効率 $\eta$ は

【0009】

【数2】

(2)

(1次元断面での解析)を行ったが、2次元断面で解析しても結果はほぼ同じである。なお、コアの屈折率は3.44とした。この解析結果からわかるように、コアの厚みを薄くすると、光はもれ出していき、スポットサイズは大きくなる。他方、コアの厚みを厚くすると、スポットサイズは大きくなる。

【0017】しかしながら、コア103の幅を細くまたは厚みを薄くすると、光導波路として伝搬モードが存在できない状態、すなわちカットオフ状態となってしまう、逆に結合損失が増加してしまうことになる。従って、従来の実施例では、光導波路のスポット拡大率には限界があった。

【0018】図49はガラス光導波路についての第2の従来例の構造を示す断面図であり、図50はその製造法を説明する図である(文献:(N. Yamaguchi and Y. Kokubun, "Spot Size Converter by Tapered Waveguides", Second Optoelectronics Conference OEC '88, Technical Digest, 2C2-2, pp. 150-151, October 2-4, 1988, Tokyo))。

【0019】ここで、111はシリコン基板、112はC7059反射防止層(屈折率1.54、厚さ $0.35\mu\text{m}$ )、113は $\text{SiO}_2$ クラッド層(屈折率1.4634、厚さ $6\mu\text{m}$ )、114は $\text{SiO}_2$ コア層(屈折率1.4653、厚さ $4\mu\text{m}$ )、115は $\text{SiO}_2$ クラッド層(屈折率1.4634、厚さ $4\mu\text{m}$ )、116はテーパ状に形成されたC7059コア(屈折率1.54、厚さ $0.62\mu\text{m}$ )である。

【0020】本例では、図49の左半分がスポットサイズの小さい領域であり、右半分がスポットサイズの大きな領域である。図50からわかるように、本例では、スペーサ117により基板111上に間隔をおいて配置されたシャドウマスク118により陰となる領域を設け、 $\text{SiO}_2$ もしくはC7059を堆積してテーパ領域11

6を製作している。

【0021】本例はガラス光導波路についての例であり、特にスポットサイズが大きな領域において光導波路の厚みを大きく変えることは半導体材料の場合には極めて困難であり、半導体光導波路に本例の製法を適用することは困難であるという欠点があった。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、スポットサイズを変換するための光導波路として、従来はコアの厚みや幅をテーパ状に細くするだけであったので、導波光としてカットオフに近くなり、光は放射され易く、結合損失を著しく低減することは困難であり、従ってスポットサイズの大きさの変換効率に限界があり、およびスポットサイズが大きな光導波路をテーパ状に製作することが困難であるという欠点があった。

【0023】そこで、本発明の目的は、導波光の分布をより広げることにより外部入出力導波路との結合損失を低減することのできる導波路形ビームスポット変換素子およびその製造方法を提供することにある。

【0024】本発明の他の目的は、スポットサイズを拡大した半導体光導波路の屈折率制御を再現性よくかつ高精度に行うことのできる半導体光導波路およびその製造方法を提供することにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、請求項1記載の本発明は、光を出射する光導波路であって実質的に単一モードの光を出射する出射用光導波路部と、該出射用光導波路部のコアと連続するコアを有しスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路部と、変換されたスポットの光を伝搬する光伝搬部とを基板上に配設した導波路形ビームスポット変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路部のコアを素子先端部へ向けて幅方向にテーパ状に変化させるとともに、厚み方向にテーパ状に薄くし、かつ前記コアを前記スポットサイズ変換用光導波路部において打ち切り、および前記基板よりも屈折率が高い少なくとも1個以上の第2コアを前記出射用光導波路部および前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアの上および下の少なくとも一方に配設したことを特徴とする。

【0026】請求項2に記載の発明は、光を出射する光導波路であって実質的に単一モードの光を出射する出射用光導波路部と、該出射用光導波路部のコアと連続するコアを有しスポットサイズを変換するスポットサイズ変換用光導波路部と、変換されたスポットの光を伝搬する光伝搬部とを基板上に配設した導波路形ビームスポット変換素子において、前記スポットサイズ変換用光導波路部のコアを素子先端部へ向けて幅方向にテーパ状に変化させるとともに、厚み方向にテーパ状に薄くし、かつ前記コアを前記スポットサイズ変換用光導波路部において打ち切り、および前記基板よりも屈折率が高い少なくと

も1個以上の第2コアを前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアの上および下の少なくとも一方に配設したことを特徴とする。

【0027】請求項3に記載の発明は、請求項1または2記載の導波路形ビームスポット変換素子の製造方法において、前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアを、その厚みを領域選択成長技術で少なくとも厚み方向にテーパ状に変化させて形成することを特徴とする。

【0028】請求項4に記載の発明は、請求項1または2記載の導波路形ビームスポット変換素子の製造方法において、前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアにあらかじめエッチストップ層を介在させておき、前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアを、ウェットエッチングにより少なくとも厚み方向にテーパ状に形成することを特徴とする。

【0029】請求項5に記載の発明は、請求項4記載の導波路形ビームスポット変換素子の製造方法において、前記ウェットエッチングで形成した前記スポットサイズ変換用光導波路部の前記コアの厚み方向のテーパ部分に幅方向に複数個のテーパを形成し、導波光の等価屈折率を長手方向において緩やかに変化させることを特徴とする。

【0030】請求項6に記載の発明は、基板と、前記基板の上部に配置され、前記基板よりも屈折率が高く、前記基板と格子整合したInAlAs層とInP層とを交互に積層して構成した第1コア層と、前記第1コア層の上部に配置され、前記第1のコア層よりも屈折率が低いクラッド層とを具えたことを特徴とする。

【0031】請求項7に記載の発明は、請求項6記載の半導体光導波路において、前記第1コア層の中に配置され、前記第1コア層よりも屈折率が高く、素子先端部に向かって幅方向に徐々に狭くもしくは広く形成されるとともに、厚み方向に徐々に薄く形成され、かつ素子先端部に達する前になくなる第2コア層をさらに具えたことを特徴とする。

【0032】請求項8に記載の発明は、請求項7記載の半導体光導波路を製造するにあたり、前記第2コア層内に、前記第2コア層に対して選択性のあるエッチストップ層を介在させておき、前記第2コア層を、選択ウェットエッチング技術を用いて、少なくとも厚み方向に徐々に変化させて形成することを特徴とする。

【0033】請求項9に記載の発明は、請求項8記載の半導体光導波路の製造方法において、前記第2コア層を、その厚みを領域選択成長技術を用いて少なくとも厚み方向に徐々に変化させて形成することを特徴とする。

【0034】

【作用】本発明ではスポットサイズ変換部の光導波路のコアの厚みを薄くすることにより、光を漏れださせ、かつ素子の端部の光伝搬部に至る前にスポットサイズ変換部においてコアを打ち切って素子端部には屈折率が高い

出射用光導波路のコアが形成されないように構成し、しかもまた、本発明では、基板よりも屈折率が高い出射用光導波路を伝搬する導波光の分布に影響を与えない程度の屈折率を有するコアを新たに射出用光導波路とスポットサイズ変換用光導波路の少なくとも下もしくは上に設けている。これらの構成により、本発明では、導波モードがカットオフとならず、しかも放射モードと結合して放射損が増加することがないため、スポットサイズを広げることができる。その結果、本発明によれば、半導体光導波路と外部光ファイバとの光結合損失を低減するとともに軸ずれのトレランスを大幅に改善でき、半導体光導波路と外部光ファイバとの結合を容易に行える。

【0035】本発明では、光射出用光導波路のコアの少なくとも上もしくは下に基板よりも屈折率の高いコアを設け、かつスポットサイズ変換用光導波路のコアが素子先端部に達する前に打ち切られている点、スポット変換部のコアの厚みを薄くするために領域選択成長技術あるいはウェットエッチング技術を用いている点で従来技術とは異なっている。

【0036】さらにまた、本発明では、MQWコア層のウェル層にInP、バリア層にInAlAsを用いることによって、再現性よく高精度にMQWコア層の屈折率を制御して、スポットサイズの大きい半導体光導波路を提供することができる。

【0037】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0038】図1、図2、図3および図4は、それぞれ、本発明の第1の実施例の斜視図、縦断面図、図2のCC'線断面図およびDD'線断面図である。図中、1はInP（屈折率 $n_1 = 3.17$ ）クラッド、2は射出用光導波路部Iのコア（ここではバンドギャップ波長 $\lambda_0 = 1.3 \mu\text{m}$ 、屈折率 $n_2 = 3.39$ ）、3はスポットサイズ変換部IIのコア、4は射出用光導波路部I、スポットサイズ変換部IIおよび光伝搬部IIIを通して一体的に設けられた第2コア（屈折率 $n_3 = 3.213$ ）、5はInP基板、6はInP埋め込み層（ $n_1 = 3.17$ ）である。

【0039】本実施例ではスポットサイズ変換部のコア3の厚さをテーパ状に薄くすると共に幅を広げることにより、射出用光導波路2を伝搬してきた光を横方向に広げている。また、コア3の厚みを薄くすることにより、上下方向にも光の界分布を広げている。本発明では射出用光導波路部Iのコア2を伝搬してきた光は、スポットサイズ変換用光導波路部IIのコア3を伝搬していくが、このコア3が最終的になくなるように設計しているため、導波光は第2コア4を伝搬することになる。ところが第2コア4の屈折率 $n_3$ は基板5の屈折率 $n_1$ よりも極くわずかに高くしているため、導波光はカットオフとならずに導波され、その界分布は大きく広がることに

なる。

【0040】図5は本発明の第2の実施例を示す斜視図であり、第1の実施例と同様の個所には同一の符号を付す。本実施例では、スポットサイズ変換部IIのコア3をテーパ状に薄くするとともに幅をテーパ状に狭くすることにより導波光をコア3から漏れださせ界分布を広げてコア4に光を伝搬させている。

【0041】図6、図7および図8は本発明の第1および第2の実施例において、スポットサイズ変換部IIのコア3の厚さを薄くするための方法を説明するための、それぞれ、平面図、図6のEE'線断面図および図6のFF'線断面図である。図6～図8において、第2コア4上に配設するSiO<sub>2</sub>マスク11の面積を場所的に変えることにより、成長層の膜厚を場所的に変えることのできる領域選択成長技術（文献：1991年電子情報通信学会秋期大会C-133）を用いている。ここで、SiO<sub>2</sub>マスク11のうちコア3に対応する部分の面積をテーパ状に定めることによって、図7と図8とを比較するとわかるように、SiO<sub>2</sub>マスク11がある領域近傍のInGaAsP層12の厚みをその他の領域のInGaAsP層13の厚みよりも厚くすることができる。

【0042】この後、SiO<sub>2</sub>マスク11を除去し、InGaAsP層12および13をエッチングして、図1や図5の斜視図に示すように、テーパ状のコア3を形成すればよい。

【0043】図9および図10は、それぞれ、本発明の第3および第4実施例を示す斜視図であり、図11はこれら第3および第4実施例の縦断面図である。図12および図13は、それぞれ、図11のGG'線およびHH'線断面図である。これら第3および第4実施例は、それぞれ、図1～図4および図5にそれぞれ示した第1の実施例および第2の実施例において、屈折率が基板5よりも高い第3のコア10を第2コア4上に設けた場合である。

【0044】なお、図11において、第3のコア10の上側表面もテーパ状コア3のテーパ面に沿ったテーパをもつように描いているが、実際にはコア3の最大厚みが $0.3 \mu\text{m}$ 程度で、コア4の厚みが $4 \mu\text{m}$ 程度であることから、コア10の上側表面はほぼ平坦である。図11ではコア3の上側表面を誇張してテーパ状に示している。

【0045】図14は本発明の第5実施例を示す斜視図、図15はその縦断面図である。図16、図17および図18は、それぞれ、図15のII'線、JJ'線およびKK'線断面図である。図19、図20および図21は、それぞれ、本実施例の構造の製作法を説明する斜視図、LL'線断面図、およびMM'線断面図である。ここで、第2コア4上に設けるSiO<sub>2</sub>のマスク11の窓を素子の端部に向ってテーパ状に形成している。選択成長では、成長は斜めに生じるため、LL'線断面にお

いては、InGaAsPコア2は台形に形成されるのに対して、MM'線断面においては、InGaAsPコア3は三角形に形成される。テーバの細い先端では極めて小さい三角形になり最終的に導波光はコア3から放射され、図14～図18に示した第2コア4や第3コア10を伝搬し、スポットサイズが拡大される。なお、この場合、第3コア10を設けなくてもスポット拡大についてのある程度の効果があることは言うまでもない。

【0046】図22および図23に実線で示す特性は図1～図4に示した本発明の第1の実施例および図5に示した本発明の第2の実施例の第2コア4の幅W（ここでは計算の便宜上幅と厚みを同じとするが、両者は異なっている）を変数とした場合のスポットサイズおよび第2コア4を伝搬してきた導波光の単一モード光ファイバ（ファイバのスポットサイズは4μmとする）との結合損失の計算結果である。破線で示す特性は、後述する比較例の場合を示す。また、本発明を適用しない従来例として、InGaAsコア（λg=1.3μm）のみを用い、そのコア幅を1.5μmおよびコア厚を0.4μmとした場合の幅方向および深さ方向のスポットサイズ、および結合損失の大きさを、それぞれ、図22および図23の縦軸に矢印で示した。これらの図から、コア幅Wが大きくなるとともに、スポットサイズが拡大され、その結果、単一モード光ファイバとの結合損失を低減できることがわかる。

【0047】なお、図22および図23は、図9および図10にそれぞれに示した本発明の第3および第4の実施例については、第2コア4と第3コア10の屈折率は等しいとし、またそれらの厚みは第2コア4と第3コア10の厚みの和とした場合に対応している。この場合には、図9～図13からわかるように、スポットサイズ変換部IIのコア3に対し、第2コア4と第3コア10がほぼ対称に配置しているため、スポットサイズ変換部IIのコア3を伝搬してきた光が第2コア4と第3コア10からなる大きなコアへのモード変換の効率が高くなる。

【0048】また、本発明では、基板（ここではInP基板5）よりも屈折率が高い第2コア4や第3コア10を設けているので、スポットサイズ変換部IIのコア3を細くしても導波モードがカットオフとならない。その結果、スポットサイズ変換部IIにおいて放射損失が大きくなり、より高効率なスポットサイズ変換を行うことができるという利点がある。

【0049】さらに、スポットサイズが拡大されているので、式(2)からわかるように、軸ずれのトレランスも拡大されていることは言うまでもない。

【0050】なお、本発明では、スポットサイズ変換部IIのコア3をテーバ領域で打ち切り、素子端部の光伝搬部IIIに屈折率が高い層（InGaAsP、λg=1.3μm）が来ないようにしているが、この効果を明らかにするために、素子端部の光伝搬部IIIにまでテーバ領

域のコア3を延ばした従来例の場合、すなわち厚み0.13μmのInGaAsP（λg=1.3μm）によるコア3を端子端部まで延在させ、その上下両面を幅Wで厚みW/2のコア（n=3.213）でサンドイッチした構造についての結果を比較例として参考のために図22および図23に破線で示す。この比較例では屈折率の高いInGaAsP層がコア層間にあるので導波光は厚み方向に十分に広がらない。これに対して、本発明では、屈折率が高いコア層3を光伝搬部IIIまで延ばさず、スポットサイズ変換部IIでテーバ状に打ち切っているために、極めて低損失な光結合が実現できると結論できる。

【0051】なお、比較例では、幅Wを大きくすると多モードとなり易く、あまり幅を広くできないという欠点がある。なお、この計算結果においては、第2コア4や第3コア10の屈折率は3.213としたが、クラッド（ここではInP）の屈折率に近い値の材料であれば、厚みの薄いInGaAsウェルやInPバリアにより構成した多重量子井戸（一般に超格子と呼ばれており、バンドギャップと屈折率を独立に設定できる特徴がある）、InGaAsP、InAlAs等いかなる材料を用いてもよい。

【0052】また、出射用光導波路のコア2（InGaAsP、λg=1.3μm）と第2コア4や第3コア10（屈折率n=3.213）との屈折率差は5.5%と大きく、InPクラッド（屈折率3.17）の場合の屈折率差6.9%とほぼ同等である。従って、出射用光導波路部のコア2においては光はコアに充分閉じ込められており、光スイッチング等の機能を出射用光導波路部に持たせることができる。しかもまた、スポットサイズが小さなスポットサイズ変換部IIと出射用光導波路部Iとのパットジョイント損失が小さくて済むことになる。

【0053】あるいはまた、第2コア、第3コアにとどまらず、もっと多くのコアを設けてもよいし、それらの間に屈折率分布を持たせてもよい。

【0054】さらにまた、第2コアと第3コアの厚みが同じでなくてもよい。一般に、半導体光デバイスの場合にはコアの上側のクラッドの厚みはあまり厚くできないので、第2コアの厚みを第3コアの厚みよりも厚くすることにより、第2コアと第3コアの厚みの和を大きくできる。

【0055】図24および図25は本発明の第6および第7の実施例をそれぞれ示す。図26はこれら第6および第7の実施例の縦断面図を示す。これら第6および第7の実施例では、一旦、InPクラッド1をエッチングした後、スポットサイズ変換部IIのコア3の箇所から第3のコア10を再成長させる。

【0056】図27および図28は、それぞれ、本発明の第8および第9の実施例を示す斜視図、図29はこれら実施例の縦断面図であり、出射用光導波路部Iのコア

2を形成する前にInP基板8をエッチングしてエッチアウトした素子端部の部分に第2コア層4を再成長させ、その後はこれまでの実施例と同様にスポットサイズ変換部IIを製作する。

【0057】また、スポットサイズ変換部IIにおける厚み方向のテーパ形状は、図30および図31に示す第10の実施例のように、仮想テーパ線に沿って順次に延在する複数のInGaAsP層14の間に、複数のInPエッチストップ層15を介挿しておき、両者の各層をウェットエッチングによって上記の仮想テーパ線に沿うように順次に製作することもできる。

【0058】図32および図33は、それぞれ、本発明の第11の実施例の縦断面図および平面図である。この第11の実施例では、図30と異なり、スポットサイズ変換部IIのテーパ形状を複数個のテーパ形状で形成しているため、テーパ光導波路の長手方向における等価屈折率を図30に示した第10の実施例の場合よりも等価的に緩やかに変えることができ、スポットサイズ変換部IIにおけるスポットサイズ変換効率が向上することになる。

【0059】なお、これらのテーパの形成については第3コアがない場合にも適用できることは言うまでもない。

【0060】これまでに説明してきた本発明の第1～第11の実施例では、いずれも、第2コア4および第3コア10をメサ形状に形成し、その両側面をクラッド6で埋め込んで横方向の光閉じ込めを行っているが、コア4および10の厚さが厚くなるとクラッド6による埋め込みが難しくなる。

【0061】そこで、以下に示す第12～第19の実施例では、第2コア4および第3コア10については、メサ形状とせずに基板5と同様に平板状に形成し、埋め込み層6を設けずにクラッド1をスポットサイズ変換部IIおよび光伝搬部IIIにまで延在させ、これら両部分IIおよびIIIにおけるクラッド1をメサ形状に形成して横方向の光閉じ込めを行う。

【0062】図34に示す第12の実施例では、テーパ状コア3の幅が広がるのに対応してクラッド1のメサ部1Aの幅も広げている。

【0063】図35に示す第13の実施例では、クラッド1のメサ部1Aの幅を一定に定めている。

【0064】図36に示す第14の実施例では、テーパ状コア3の厚さをテーパ状に薄くすると共に幅をテーパ状に狭くし、かつクラッド1のメサ部1Aの幅を広げている。

【0065】図37に示す第15の実施例では、図36に示したのと同様のテーパ状コア3に対して、クラッド\*

\*1のメサ部1Aの幅を一定に定めている。

【0066】図38～図41に示す第16～第19の実施例では、第2コア4に加えて第3コア10を設けているが、クラッド1のメサ部1Aおよびコア3については、それぞれ、図34～図37に示した第12～第15の実施例と同様に構成する。

【0067】図42はこれら第16～第19の実施例の縦断面図、図43および図44は、それぞれ、図42のNN'線およびOO'線断面図である。

【0068】なお、図34～図44において、メサの深さは導波モードが単一モード伝搬となるように定める。従って、単一モード性が保たれるならば、第3コア10や第2コア4までメサを深く切り込んでもよい。

【0069】あるいはまた、例えば図34の実施例においては、横方向における光の閉じ込めをメサを形成することにより行っているが、このようにメサを構成する代わりに、図34の場合であれば第2コア4を部分的に厚くすることによっても横方向における閉じ込めを行うことが可能である。

【0070】光半導体導波路のスポットサイズをSMFのそれと同程度の大きさにするためには、コア層とクラッド層との屈折率差 $\Delta n$ を小さくし、光の界分布を広げることが考えられる。ひとつの方法として、混晶の組成比を変えることによって、 $\Delta n$ をわずかに設ける方法がある。たとえば、コア層にGaAs、クラッド層にAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Asを用いるとする(参考文献 Lin et. al. Electron. Lett. 21, 598 (1985))。ここで、小さな $\Delta n$ を設けるためには、クラッド層であるAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>AsのAl分率を正確に制御せねばならず、制御が非常に困難であり、実用性に乏しい。

【0071】そこで、もうひとつの方法として、図51に示すように多重量子井戸(以下MQW)を用いてコアの屈折率を制御した構造が提案されている(参考文献 Deri et. al. Appl. Phys. Lett. 55, 1495 (1989))。図51において、201は半絶縁性InP基板、202はInPバッファ層、203はコア層、204はInP上部クラッド層である。各層はすべてノンドープである。コア層203はMQW構造になっており、その構成は、ウェルに厚さ3.5nmのInGaAs( $\lambda=1.13\mu\text{m}$ )層、バリアに厚さ139.4nmのInP層となっている。ウェル層とバリア層は交互に15層ずつ存在する。

【0072】MQWの等価的な屈折率 $n_{\text{eq}}$ は、次式で表される。

【0073】

【数3】

$$n_{\text{eq}} = ( (n_1^2 d_1 + n_2^2 d_2) / (d_1 + d_2) )^{1/2}$$

(3)

なお、 $n_1$ はウェルの屈折率、 $n_2$ はバリアの屈折率、 $d_1$ はウェルの膜厚、そして $d_2$ はバリアの膜厚であ



13

る。これからわかるように、ウェルとバリアの屈折率が既知であれば、ウェルとバリアの膜厚を任意に選択することによって、所望の屈折率を設定することができる。最近のMOVPEやMBE等の成長方法を用いれば、膜厚制御は1nmオーダーの精度で制御できる。式(3)より上記のMQWであるコア層203の等価的屈折率は3.173程度になる。クラッド層であるInPの屈折率は3.17であるので、 $\Delta n$ は $1 \times 10^{-3}$ 程度と小さい値とすることができる。

【0074】しかしながら、このような従来の構造には次に示す問題があった。すなわち、MQWのウェルに用いたInGaAsP( $\lambda = 1.13 \mu\text{m}$ , 屈折率 $n = 3.2956$ )は四元混晶である。したがって、成長中のAs圧やP圧の変動によって、組成が所望の値からバンドギャップ波長にして $\Delta\lambda = 0.02 \mu\text{m}$ 程度ばらつく。また、ウェル面内のばらつきも同程度考えられる。

【0075】図52はInGaAsP四元混晶のバンドギャップ波長と屈折率との関係を示す図である。この図からわかるように、InGaAsPのバンドギャップ波長が変われば、屈折率も変化してしまい、 $\Delta n$ の高精度の制御ができない。そのため、スポットが十分に大きくならなかったり、また放射してしまったりする問題があった。また、半導体導波路形光スイッチのような大面積のデバイスでは、ウェル面内のばらつきのため、上記と同様な問題があった。

【0076】このように、従来の技術ではMQWのウェル層にInGaAsP四元混晶を用いているため、組成制御すなわち屈折率制御が十分にできず、スポットサイズをひろげた光導波路を再現性よくかつ高精度に形成できなかった。

【0077】以上の点に鑑みて、本発明の上述した実施例における第2コア4や第3コア10として、InAlAsとInPとを交互に積層するなどにより屈折率を制御した積層構造を用いた第20~22実施例を以下に説明する。

【0078】図53は本発明の第20の実施例を説明する図であり、光軸と水平な方向の断面図である。層構造は、下から順にInP基板31、InP下部クラッド層32、MQWコア層33、InP上部クラッド層34である。MQWの層構成は、ウェルにInP(240nm)、バリアにInAlAs(20nm)を用い、繰り返し周期は6である。

【0079】上記に示す構造において、コアの屈折率は以下に示すようになる。InPの屈折率を3.1693、InAlAsの屈折率を3.213とすると、式(3)より、MQWコア層33の屈折率は3.1727となり、InPクラッドとの屈折率差 $\Delta n$ は、 $3.4 \times 10^{-3}$ となる。このような小さな $\Delta n$ のため、コアの光の閉じ込めは緩くなり、界分布が広がり、その結果スポットサイズが大きくなる。なお、InAlAsの屈折率

14

は、X線回折でInPと格子整合する組成(In<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>As)さえつかんでおけば、一義的に決まる。

【0080】上記の説明から明らかなように、MQWにInGaAsP四元混晶を使用する従来の方法に比べて、InAlAs三元混晶を使用する本実施例の方が、混晶を構成する元素数も少く、組成制御が容易である。さらにまた、InGaAsP四元混晶の場合、X線回折でInPとの格子整合を確認しても、一義的に屈折率が決定するとは限らず、フォトルミネッセンスでバンドギャップエネルギーをも確認して、初めて屈折率が決定する。このことからみても、X線回折のみで一義的に屈折率を決定できるInAlAsを用いたMQWの方が、InGaAsPを用いたMQWよりも屈折率制御が容易である。

【0081】図54は本発明の第21の実施例を説明する図であり、光軸と水平な方向の断面図である。層構造は、下から順にInP基板41、InP下部クラッド層42、MQW第1コア層43、InP上部クラッド層44で、InGaAsP第2コア45をMQW第1コア43の中に設ける。

【0082】コアは、InGaAsP第1コア45とMQW第2コア43の形状に応じて、以下に述べる3つの部分から構成される。InGaAsP第2コア45とMQW第1コア43とがともに存在する出射用光導波路部I、InGaAsP第2コア45が導波方向にむかって厚さが徐々に薄くなるとともに、導波路幅が広く、あるいは狭くなっているスポットサイズ変換部II、およびMQW第1コア43のみからなる光伝搬部IIIの3つの部分である。MQWの層構成は、ウェルにInP(240nm)、バリアにInAlAs(20nm)を用い、繰り返し周期は6である。

【0083】次に、第21の実施例における光導波路の製作工程を以下に示す。図55は本発明の第21の実施例の光導波路の製作工程を説明する図であり、光軸と水平方向の断面図である。Feドープ半絶縁性InP基板501上に、MOVPE法によって以下に述べる層を順次に成長させる。すなわち、InP下部クラッド層502、MQW第1コア層503、InPエッチストップ層504、InGaAsP層505、InPエッチストップ層506、InGaAsP層507、InPエッチストップ層504、InGaAsP層505、InPエッチストップ層506、InGaAsP層507、InPエッチストップ層508、InGaAsP層509、InPエッチストップ層510、InGaAsP層511、InPエッチストップ層512、InGaAsP層513をこの順序に成長させる。

【0084】InGaAsPの組成は、バンドギャップ波長にして1.26 $\mu\text{m}$ である。InPエッチストップ層504からInGaAsP層513までを合わせたものが、図54に示したInGaAsP第2コア層45に

相当するものである。

【0085】続いて、図56にInGaAsP第2コア層45のスポットサイズ変換部11の製作工程を説明する。図56における工程のすべてはウェットエッチングで行う。まず、InGaAsP層513をInPエッチストップ層まで選択エッチングする。次に、光導波方向にむかって厚さが徐々に薄くなるように、InPエッチストップ層512をエッチングし、引き続いてInGaAsP層511をエッチングする。以上の処理を繰り返して、InPエッチストップ層510、508、506およびInGaAsP層509、507、505まで選択エッチングを行う。

【0086】次に、図57および図58でInGaAsP第2コア層45のストライプを形成する工程を説明する。ウェットエッチングで出射用光導波路部の幅がL、また、スポットサイズ変換部の幅を、図57に示すように徐々に狭くなるようにするか、あるいは図58に示すように徐々に広くなるようにする。

【0087】次に、図59を参照して再成長とメサストライプを形成する工程を説明する。まず、MQW第1コア層503上にMOVPE法でMQW第2コア層903を成長させ、さらにInGaAsP第2コア層45上に、MOVPE法でInP上部クラッド層905を成長させる。次に、ウェットエッチングでInP上部クラッド層905、MQW第1コア層503および903を図59に示すような幅Wのメサストライプの形状に形成する。

【0088】以上に説明した構造において、InGaAsP第2コア層45（図54）の屈折率は、式（3）より3.3342である。また、MQW第1コア層43の屈折率は第20の実施例より3.1727である。

【0089】図54の紙面の左手から進行してきた導波光は、出射用光導波路部では、上記InGaAsP第2コア層45とMQW第1コア層43との大きな屈折率差を感じて、強く閉じ込められた状態で伝搬してくる。次に、スポットサイズ変換部にくると、InGaAsP第2コア層45とMQW第1コア層43との屈折率差が、光の伝搬方向に対して徐々に小さくなっていくので、導波光は放射を始める。そして、光伝搬部では、導波光は、MQW第1コア層43で緩やかに閉じ込められて、大きなスポットサイズの光となる。

【0090】図60に本発明の光導波路のリッジ幅と挿入損失との関係を示す。なお、挿入損失の測定はfiber to fiberで行った。導波路幅14~18μmの間で、挿入損失0.7dBが得られた。この損失の内訳は、伝搬損失が0.4dB、ファイバとの結合損失が一端あたり0.15dBである。

【0091】図61は本発明の第22の実施例を説明する斜視図、図62および図63はその断面図である。InP基板1101上に、MQW第1コア層1102を成

長させたあと、その上にSiO<sub>2</sub>マスク1103を形成する。成長層の膜厚を場所的に変えることのできる領域選択成長技術（文献：1991年電子情報通信学会秋季大会c-133）によって、このような形状のSiO<sub>2</sub>マスク1103を用いて、徐々に厚さが変化して行くようなInGaAsP第2コア層1104を形成することができる。

【0092】上記で説明した大きなスポットサイズへの変換、およびその後の導波の可否は、MQW第1コア層43とInPクラッド42、44との屈折率差をいかに正確に制御するかで決まる。従来ではMQWにInGaAsP四元混晶を使用するのに比べて、本発明ではInAlAs三元混晶を使用するので、混晶を構成する元素数も少く、組成制御すなわち屈折率制御が容易である。しかもまた、InGaAsP四元混晶の場合、X線回折でInPとの格子整合を確認しても、一義的に屈折率が決定するとは限らず、さらにフォトルミネッセンスでバンドギャップエネルギーをも確認して、初めて屈折率を決定することができる。このことからみても、X線回折のみで一義的に屈折率を決定できるInAlAsを用いたMQWの方が、InGaAsPを用いたMQWよりも屈折率制御が容易であることがわかる。

【0093】InP上部クラッド層905を再成長させるときは、LPE法を用いることもできる。また、メサストライプを形成するとき、ウェットエッチングではなく、ドライエッチングを用いることもできる。

【0094】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明ではスポットサイズ変換部の光導波路のコアの厚みを薄くすることにより、光を漏れださせ、かつ素子の端部の光伝搬部に至る前にスポットサイズ変換部においてコアを打ち切って素子端部には屈折率が高い出射用光導波路のコアが形成されないように構成し、しかもまた、本発明では、基板よりも屈折率が高い出射用光導波路を伝搬する導波光の分布に影響を与えない程度の屈折率を有するコアを新たに出射用光導波路とスポットサイズ変換用光導波路の少なくとも下もしくは上に設けている。これらの構成により、本発明では、導波モードがカットオフとならず、しかも放射モードと結合して放射損が増加することがないため、スポットサイズを広げることができる。その結果、本発明によれば、半導体光導波路と外部光ファイバとの光結合損失を低減するとともに軸ずれのトレランスを大幅に改善でき、半導体光導波路と外部光ファイバとの結合を容易に行える効果がある。

【0095】本発明によれば、MQWコア層を、InGaAsP四元混晶ではなくInAlAsを用いて構成するため、組成制御が容易であり、従って高い精度で層の屈折率制御ができ、再現性よくスポットサイズを拡大した半導体光導波路を提供できる。

【0096】本発明によるスポットサイズ拡大形光導波

17

路は、半導体光デバイスのあらゆる個別部品の外部導波路との接続部に用いることができる他、半導体モノリシック回路やPlaner Lightwave Circuit (PLC) 等のハイブリット回路中のデバイス間の接続部にも有効に適用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の斜視図である。  
 【図2】本発明の第1の実施例の縦断面図である。  
 【図3】図2のCC'線断面図である。  
 【図4】図2のDD'線断面図である。  
 【図5】本発明の第2の実施例の斜視図である。  
 【図6】本発明の第2の実施例の縦断面図である。  
 【図7】図6のEE'線断面図である。  
 【図8】図6のFF'線断面図である。  
 【図9】本発明の第3の実施例の斜視図である。  
 【図10】本発明の第4の実施例の斜視図である。  
 【図11】本発明の第3および第4の実施例の縦断面図である。  
 【図12】図11のGG'線断面図である。  
 【図13】図11のHH'線断面図である。  
 【図14】本発明の第5の実施例の斜視図である。  
 【図15】本発明の第5の実施例の縦断面図である。  
 【図16】図15のII'線断面図である。  
 【図17】図15のJJ'線断面図である。  
 【図18】図15のKK'線断面図である。  
 【図19】本発明の第5の実施例の製造工程を示す斜視図である。  
 【図20】図19のLL'線断面図である。  
 【図21】図19のMM'線断面図である。  
 【図22】本発明の効果を説明する特性図である。  
 【図23】本発明の効果を説明する特性図である。  
 【図24】本発明の第6の実施例の斜視図である。  
 【図25】本発明の第7の実施例の斜視図である。  
 【図26】本発明の第6および第7の実施例の縦断面図である。  
 【図27】本発明の第8の実施例の斜視図である。  
 【図28】本発明の第9の実施例の斜視図である。  
 【図29】本発明の第8および第9の実施例の縦断面図である。  
 【図30】本発明の第10の実施例の縦断面図である。  
 【図31】本発明の第10の実施例の平面図である。  
 【図32】本発明の第11の実施例の縦断面図である。  
 【図33】本発明の第11の実施例の平面図である。  
 【図34】本発明の第12の実施例の斜視図である。  
 【図35】本発明の第13の実施例の斜視図である。  
 【図36】本発明の第14の実施例の斜視図である。  
 【図37】本発明の第15の実施例の斜視図である。  
 【図38】本発明の第16の実施例の斜視図である。  
 【図39】本発明の第17の実施例の斜視図である。  
 【図40】本発明の第18の実施例の斜視図である。

18

【図41】本発明の第19の実施例の斜視図である。  
 【図42】本発明の第16～第19の実施例の縦断面図である。  
 【図43】図42のNN'線断面図である。  
 【図44】図42のOO'線断面図である。  
 【図45】従来例の斜視図である。  
 【図46】図45のAA'線断面図である。  
 【図47】図45のBB'線断面図である。  
 【図48】コア厚みとスポットサイズとの関係を示す特性図である。  
 【図49】他の従来例の断面図である。  
 【図50】図49に示した従来例におけるテーパ領域の製作工程説明用斜視図である。  
 【図51】スポットサイズの大きな光導波路の従来例を示す図である。  
 【図52】InGaAsPのバンドギャップ波長と屈折率との関係を示す図である。  
 【図53】本発明の第20の実施例を説明する断面図である。  
 【図54】本発明の第21の実施例を説明する断面図である。  
 【図55】本発明の第21の実施例を説明する断面図である。  
 【図56】本発明の第21の実施例を説明する断面図である。  
 【図57】本発明の第21の実施例を説明する斜視図である。  
 【図58】本発明の第21の実施例を説明する斜視図である。  
 【図59】本発明の第21の実施例を説明する斜視図である。  
 【図60】導波路とSMFとの結合効率の関係を示す図である。  
 【図61】本発明の第22の実施例を説明する斜視図である。  
 【図62】図61におけるLL'線断面図である。  
 【図63】図61におけるMM'線断面図である。  
 【符号の説明】  
 I 出射用光導波路部  
 II スポットサイズ変換用光導波路部  
 III 光伝搬部  
 1 クラッド  
 2 出射用光導波路のコア  
 3 スポットサイズ変換用光導波路のコア  
 4 第2コア  
 5 InP基板  
 6 InP埋め込み層  
 10 第3コア  
 11 SiO<sub>2</sub> マスク  
 12, 13 領域選択成長で成長したInGaAsP層

19

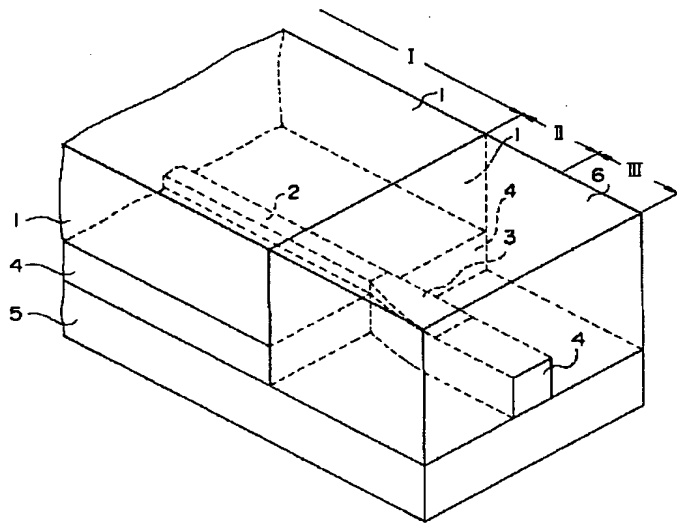
20

- 14 InGaAsP層
- 15 InPエッチストップ層
- 31, 41 InP基板
- 32, 42 InP下部クラッド層
- 33 MQWコア層
- 34, 44 InP上部クラッド層
- 43 MQW第1コア層
- 45 InGaAsP第2コア層
- 101 クラッド
- 102 出射用光導波路のコア
- 103 スポットサイズ変換用光導波路のコア
- 104 先球SMFのクラッド
- 105 先球SMFのコア
- 106 スポットサイズ変換部のコア
- 111 Si基板
- 112 反射防止層
- 113 SiO<sub>2</sub> クラッド層
- 114 SiO<sub>2</sub> コア
- 115 SiO<sub>2</sub> クラッド層
- 116 テーパー状コア

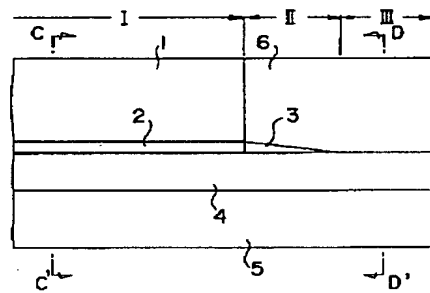
- 117 スペーサ
- 118 シADOWマスク
- 201 InP基板
- 202 InPバッファ層
- 203 コア層
- 204 InP上部クラッド層
- 501 Feドープ半絶縁性InP基板
- 502 InP下部クラッド層
- 503 MQW第1コア層
- 10 504, 506, 508, 510, 512 InPエッチストップ層
- 505, 507, 509, 511, 513 InGaAsP層
- 903 MQW第1コア層
- 905 InP上部クラッド層
- 1101 InP基板
- 1102 MQW第1コア層
- 1103 SiO<sub>2</sub> マスク
- 1104 InGaAsP第2コア層

20

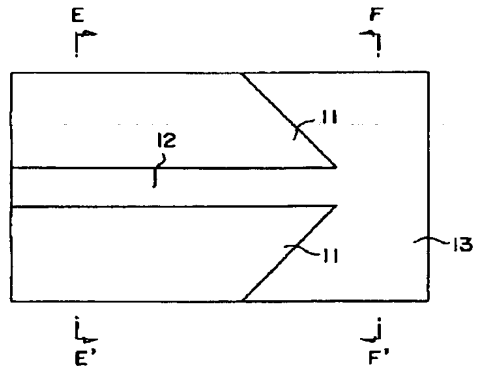
【図1】



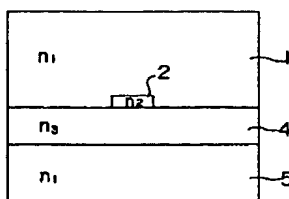
【図2】



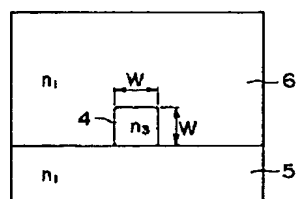
【図6】



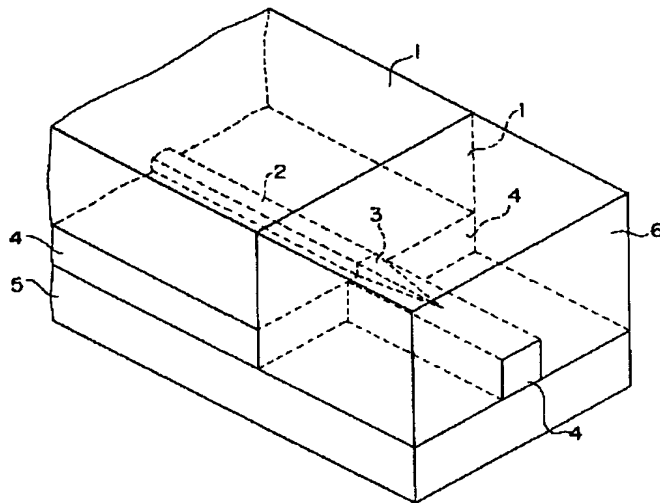
【図3】



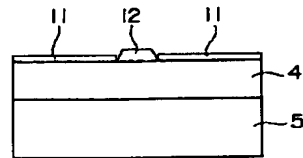
【図4】



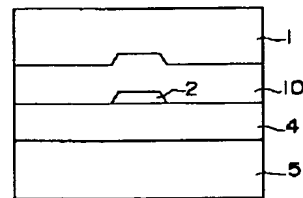
【図5】



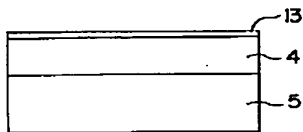
【図7】



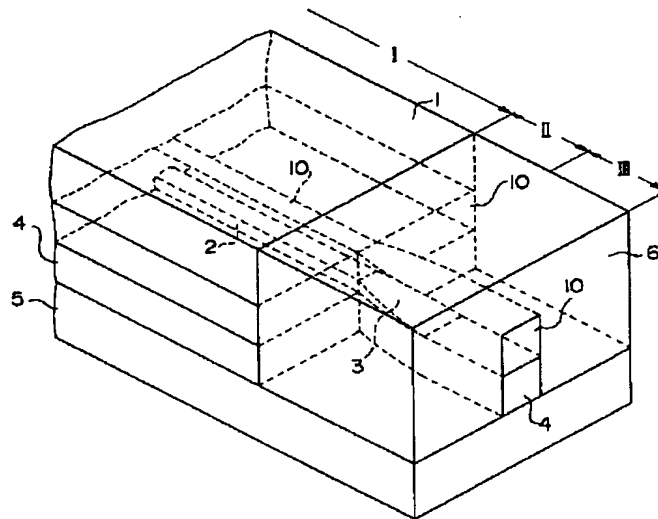
【図16】



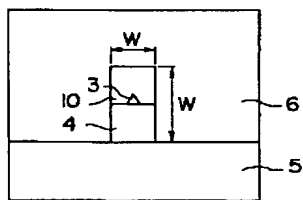
【図8】



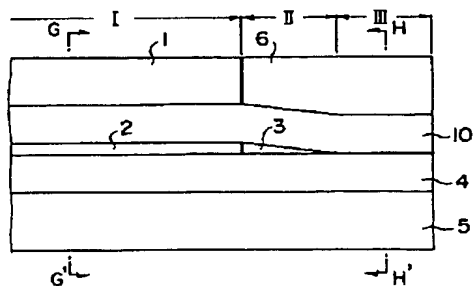
【図9】



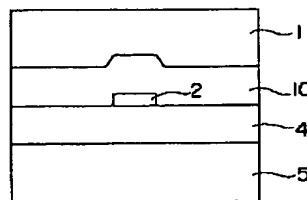
【図17】



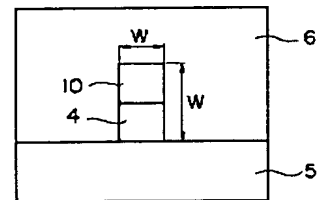
【図11】



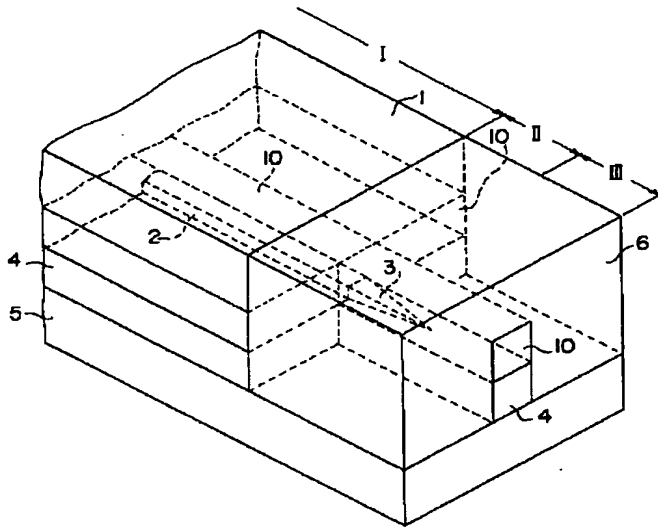
【図12】



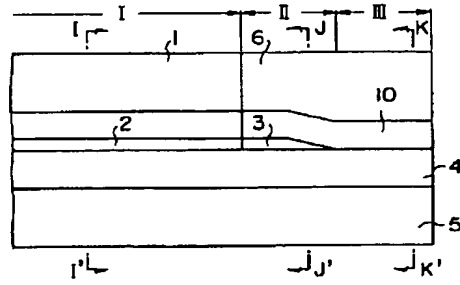
【図13】



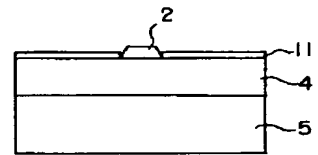
【図10】



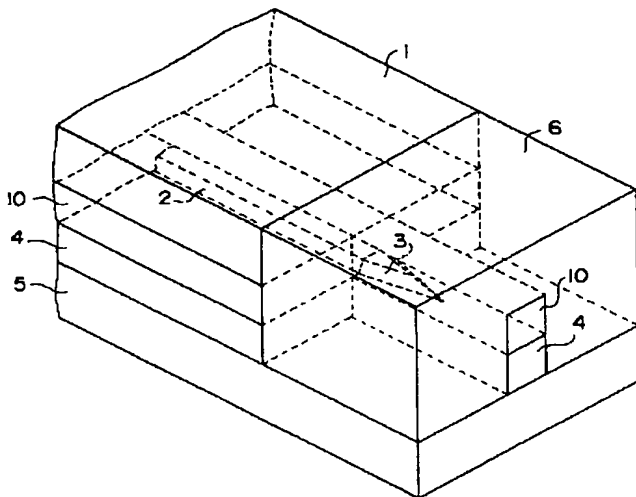
【図15】



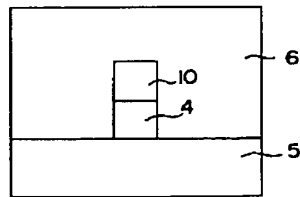
【図20】



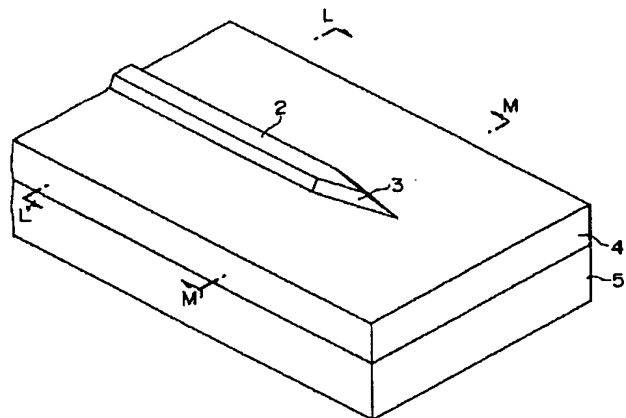
【図14】



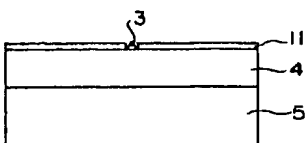
【図18】



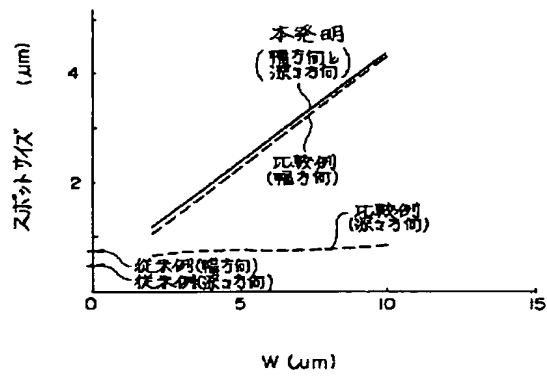
【図19】



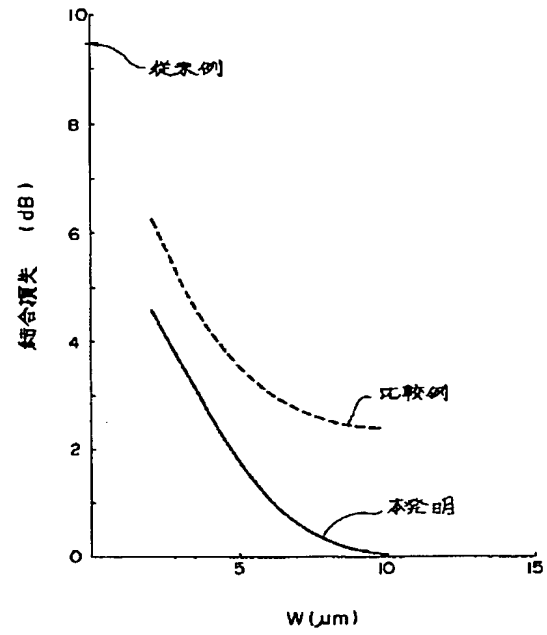
【図21】



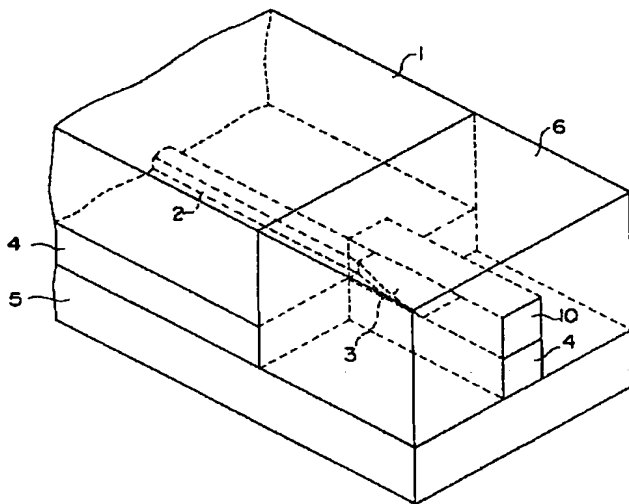
【図22】



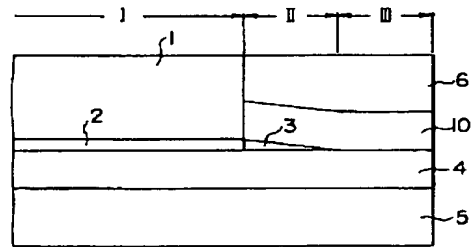
【図23】



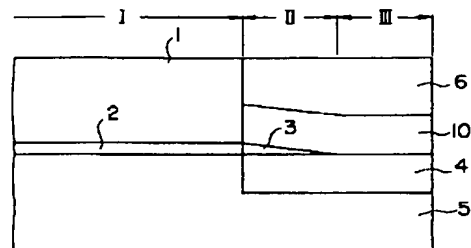
【図24】



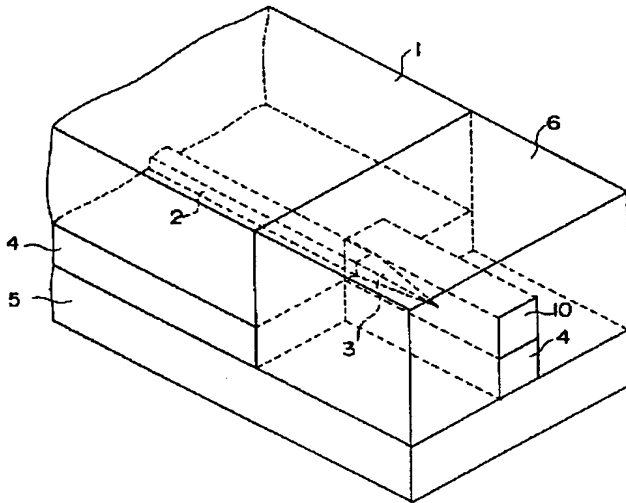
【図26】



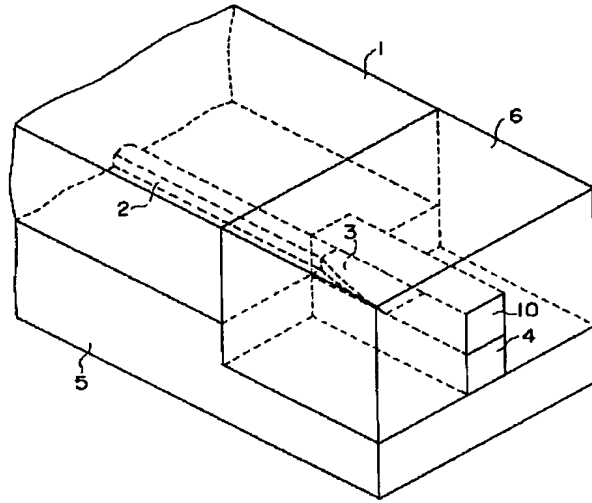
【図29】



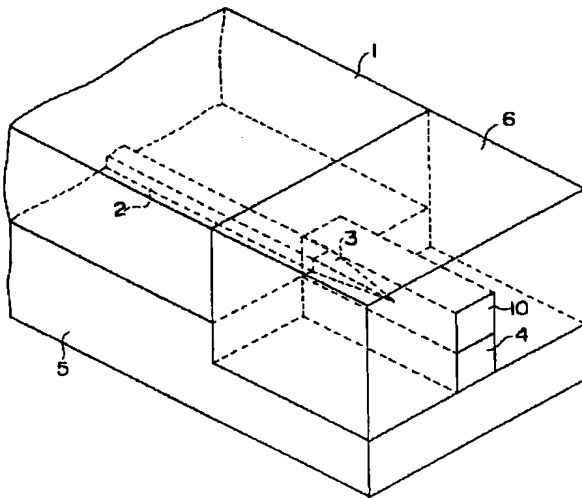
【図25】



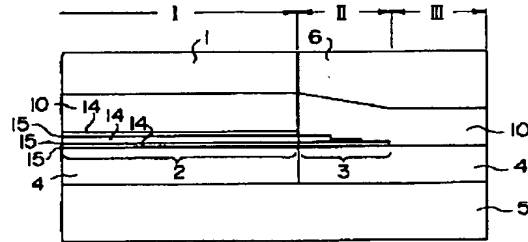
【図27】



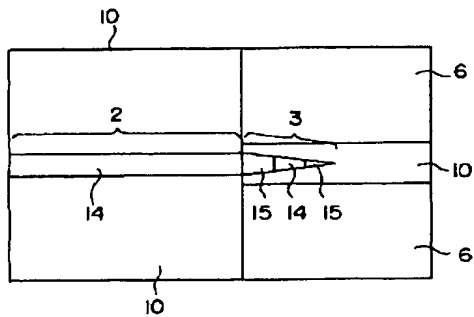
【図28】



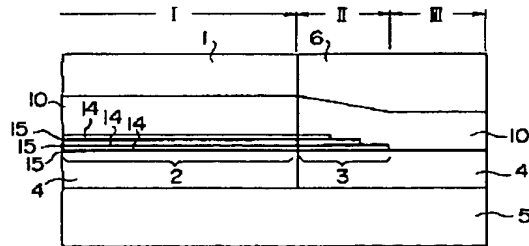
【図30】



【図31】

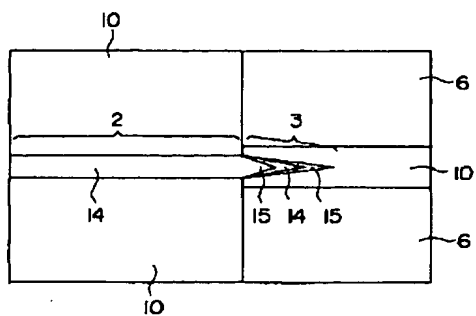


【図32】

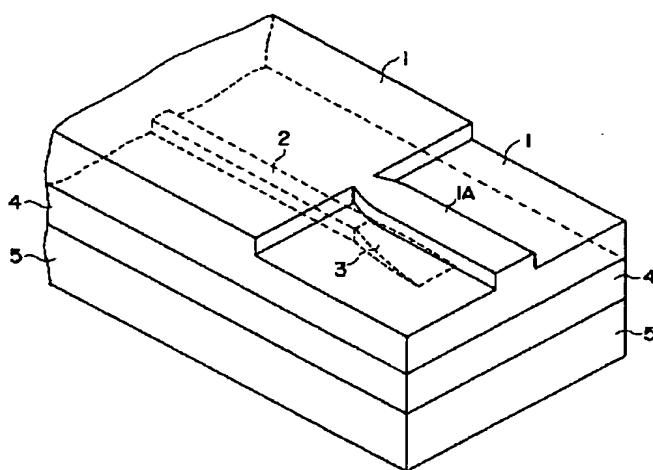




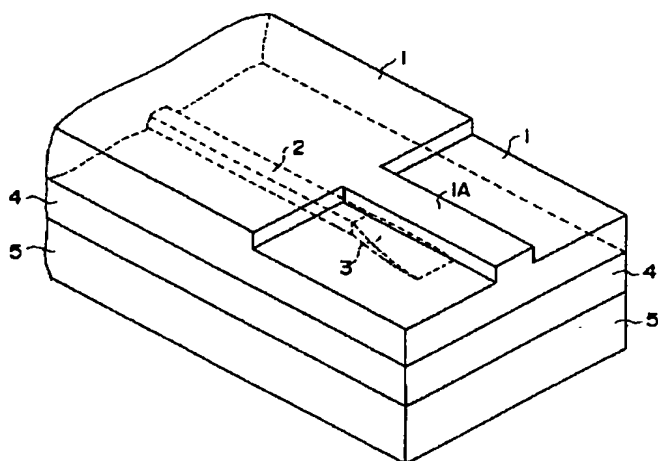
【図33】



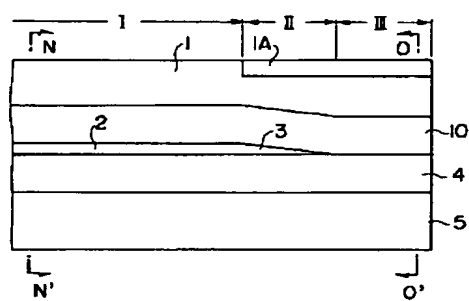
【図34】



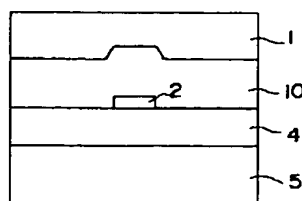
【図35】



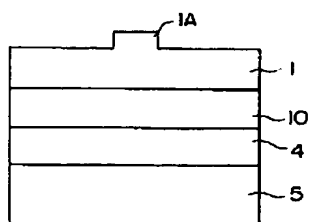
【図42】



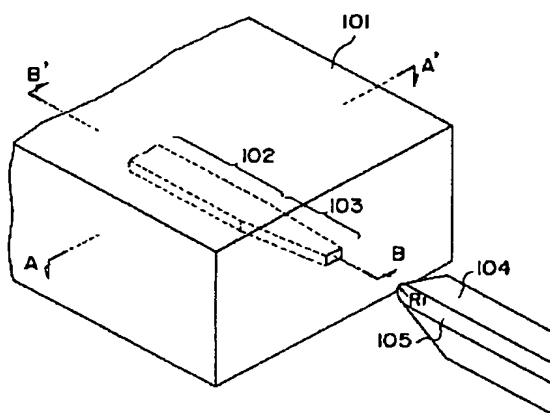
【図43】



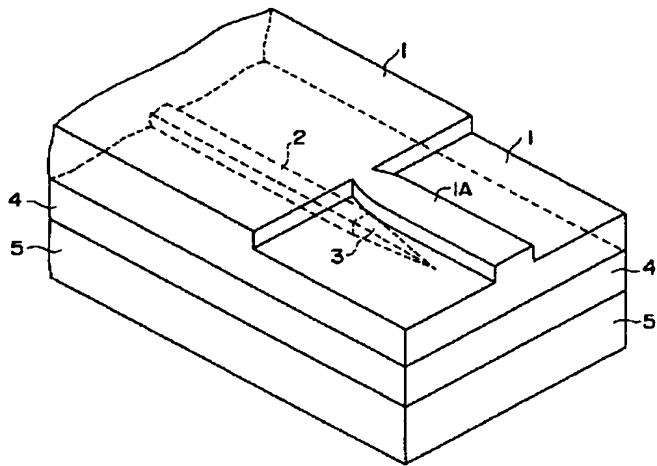
【図44】



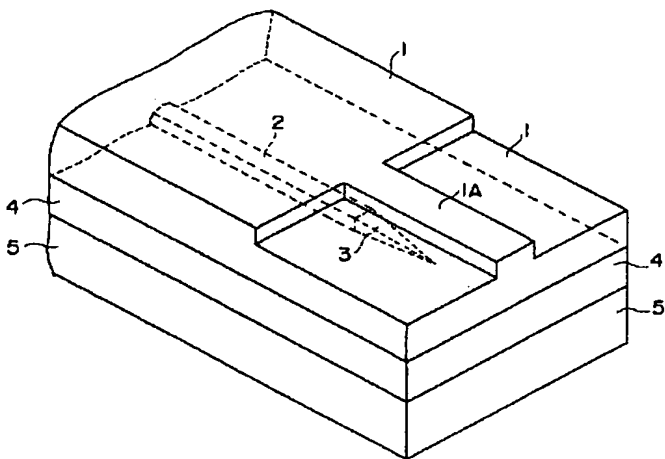
【図45】



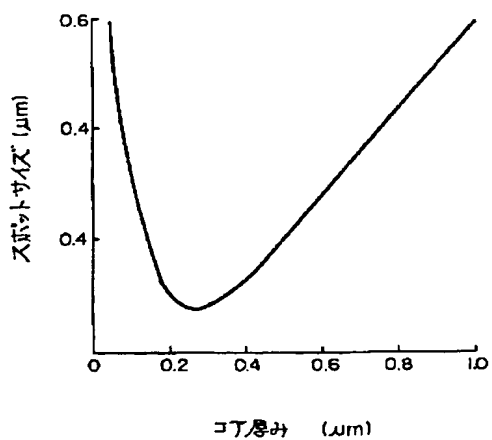
【図36】



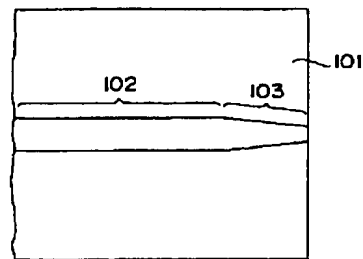
【図37】



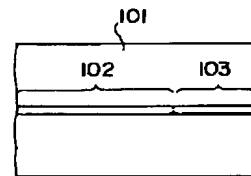
【図48】



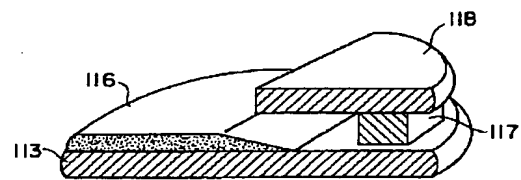
【図46】



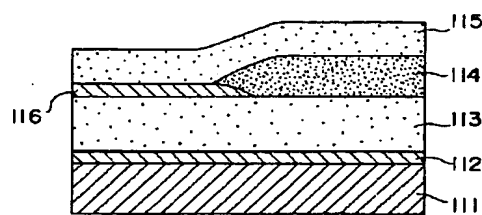
【図47】



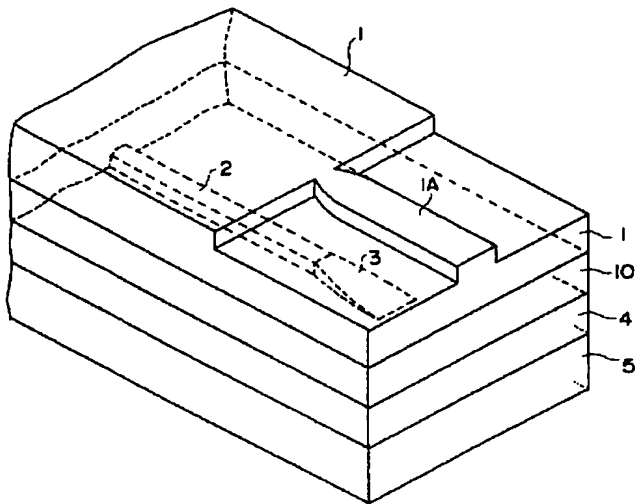
【図50】



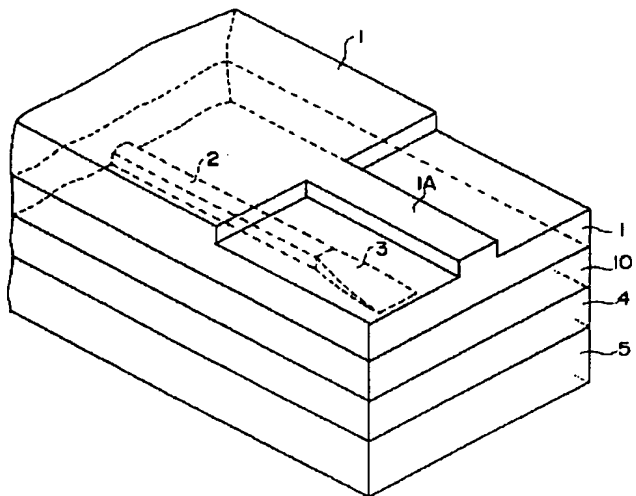
【図49】



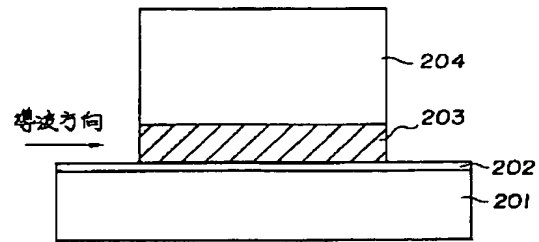
【図38】



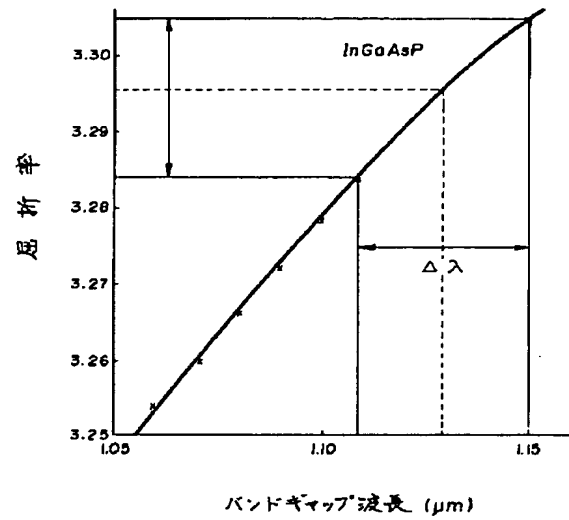
【図39】



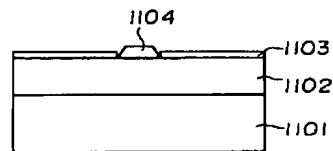
【図51】



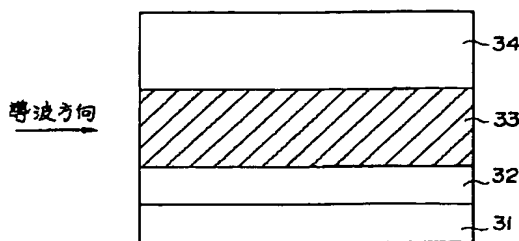
【図52】



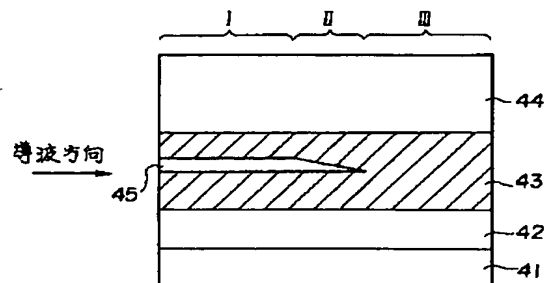
【図62】



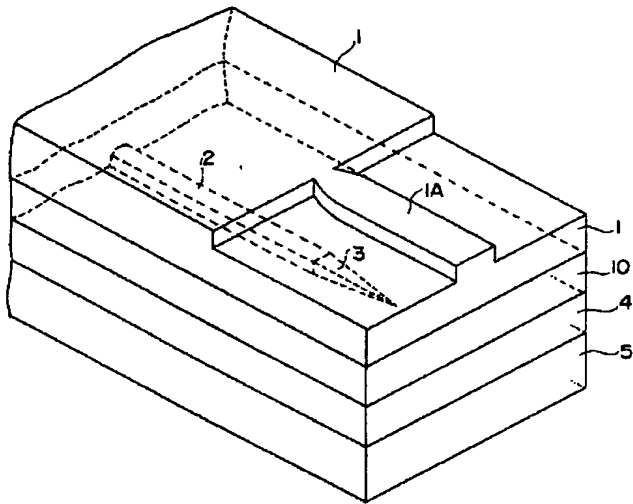
【図53】



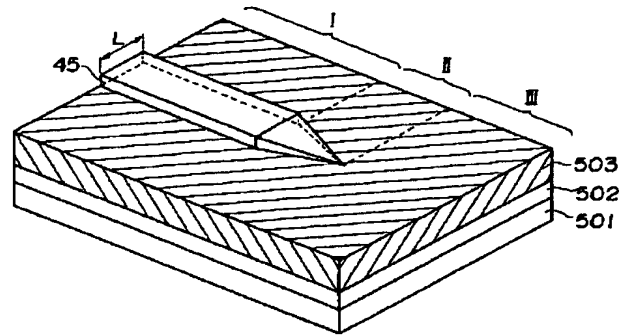
【図54】



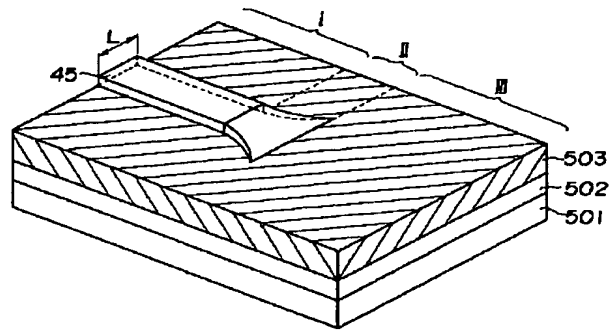
【図40】



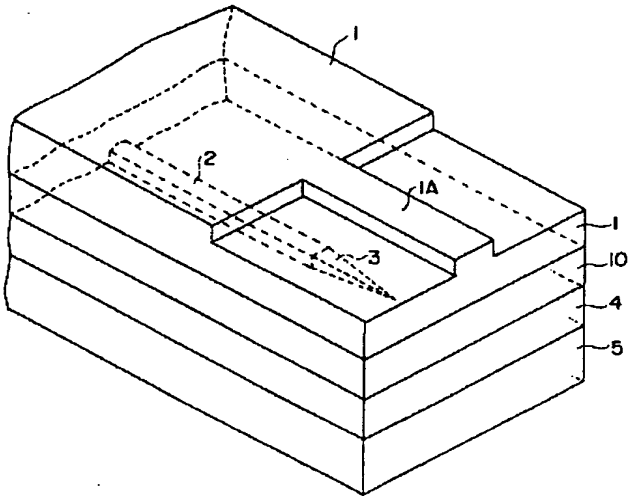
【図57】



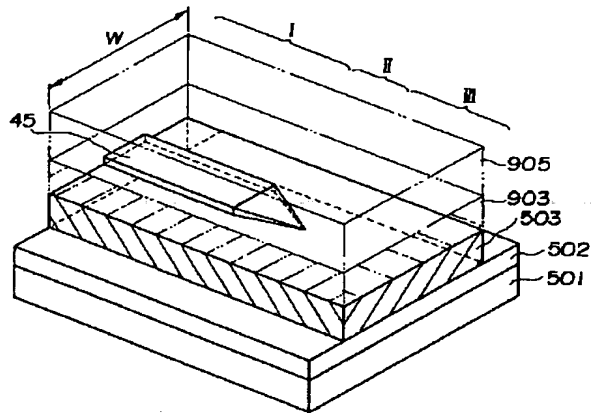
【図58】



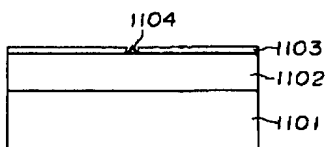
【図41】



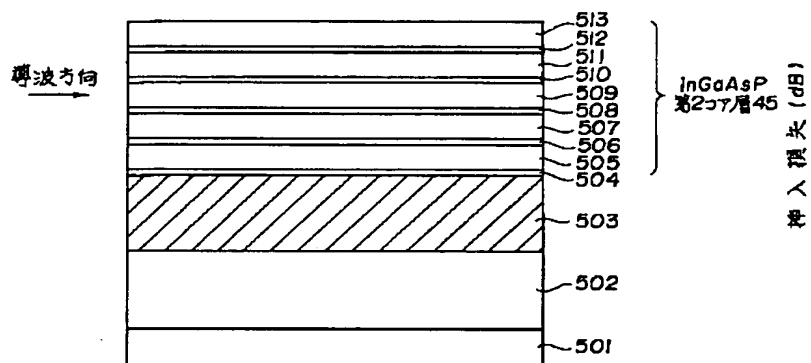
【図59】



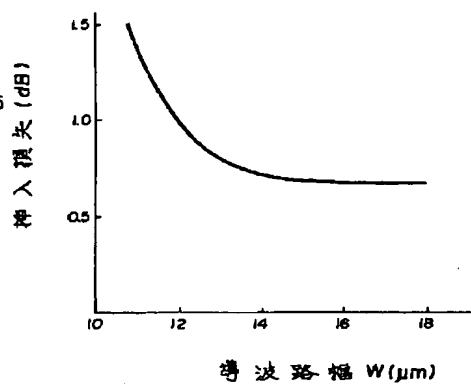
【図63】



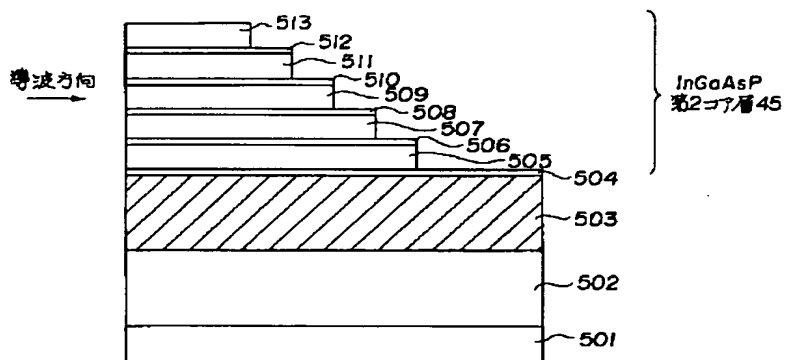
【図55】



【図60】



【図56】



【図61】

